

EPO - DG1

17 DEC 2003

112



EP03/50886

# BREVET D'INVENTION

REC'D 11 FEB 2004

WIPO

PCT

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 26 NOV. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIETE  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W /260893

<b>REMBISE DES PIÈCES</b> <b>DATE</b> <b>13 DEC 2002</b> <b>LIEU</b> <b>75 INPI PARIS</b>		<b>Réserve à l'INPI</b> <b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> <b>À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b>	
<b>N° D'ENREGISTREMENT</b> <b>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI</b> <b>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE</b> <b>PAR L'INPI</b> <b>13 DEC. 2002</b>		<b>Mme Sophie ESELIN</b> <b>THALES INTELLECTUAL PROPERTY</b> <b>13 avenue du Président Salvador Allende</b> <b>94117 ARCUEIL CEDEX</b>	
<b>Vos références pour ce dossier</b> <i>( facultatif )</i> <b>62947</b>			

<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> <b>N° attribué par l'INPI à la télécopie</b>			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet <input checked="" type="checkbox"/>			
Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/>			
Demande divisionnaire <input type="checkbox"/>			
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		<b>N°</b> <b>N°</b>	<b>Date</b> / / <b>Date</b> / /
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i> <input type="checkbox"/>		<b>N°</b>	<b>Date</b> / /

<b>3 TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)			
TRANSISTOR A VANNE DE SPIN A HAUT RENDEMENT			

<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		<b>Pays ou organisation</b> <b>Date</b> / / <b>N°</b> <b>Pays ou organisation</b> <b>Date</b> / / <b>N°</b> <b>Pays ou organisation</b> <b>Date</b> / / <b>N°</b> <input type="checkbox"/> <b>S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »</b>	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> <b>S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »</b>	
Nom ou dénomination sociale		THALES	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5 . 5 . 2 . 0 . 5 . 9 . 0 . 2 . 4	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue <b>173 boulevard Haussmann</b>		
	Code postal et ville		75008 <b>PARIS</b>
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone <i>( facultatif )</i>			
N° de télécopie <i>( facultatif )</i>			
Adresse électronique <i>( facultatif )</i>			

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISSÉ DES BREVETS	Réervé à l'INPI
DATE	13 DEC 2002
LIEU	75 INPI PARIS
N° D'ENREGISTREMENT	0215845
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	DB 540 W /200693

Vos références pour ce dossier :  
(facultatif)

62947

**6 MANDATAIRE**

Nom	ESSELIN	
Prénom	Sophie	
Cabinet ou Société	THALES	
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	8325	
Adresse	Rue	13 avenue du Président Salvador Allende
	Code postal et ville	94117 ARCUEIL CEDEX

N° de téléphone (facultatif)

01 41 48 45

N° de télécopie (facultatif)

01 41 48 45 01

Adresse électronique (facultatif)

**7 INVENTEUR (S)**

Les inventeurs sont les demandeurs	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée
------------------------------------	--

**8 RAPPORT DE RECHERCHE**

Établissement immédiat ou établissement différé	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
---	---

Paiement échelonné de la redevance	Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
------------------------------------	--

<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>	Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requise antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):
---	--

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
---	--

<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)</b>		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> <i>C. CONTE</i>
Sophie ESSELIN		

## TRANSISTOR A VANNE DE SPIN A HAUT RENDEMENT

Le domaine général de l'invention est celui de la spintronique, domaine de l'électronique utilisant les propriétés magnétiques de spin des électrons. Plus précisément, le domaine de l'invention est celui des 5 transistors à vanne de spin qui peuvent être utilisés dans de nombreux domaines de l'électronique, soit en tant que composant élémentaire (porte logique, élément de mémoire non volatile,...), soit en tant que capteur magnétorésistif dans de nombreux domaines (automobile, instrumentation, forage ou navigation), soit encore en tant que tête de lecture de support 10 d'enregistrement magnétique haute capacité (densités d'enregistrement supérieure au téraBit/inch<sup>2</sup>).

Dans un corps ferromagnétique, la diffusion des électrons est différente selon leur spin. Cet effet est utilisé dans des dispositifs à multicouches magnétiques encore appelé vanne de spin pour créer un 15 phénomène de magnétorésistance géante.

Son principe est représenté en figures 1a et 1c. Une vanne de spin comprend successivement trois couches de matériaux. La première couche F1 est une couche de métal ferromagnétique à aimantation imposée. La seconde couche N est une couche de métal non magnétique séparant la 20 première couche de la troisième. La troisième couche F2 est une couche de métal ferromagnétique à aimantation variable. Le principe de fonctionnement est le suivant : Si l'on soumet la vanne de spin à un champ magnétique H, celui-ci est suffisant pour modifier le sens de l'aimantation de la seconde couche sans altérer celui de la première couche. L'aimantation imposée de la 25 couche F2 subsiste alors après le retrait du champ magnétique H. Suivant le sens du champ magnétique appliqué, la première et la troisième couche sont donc, soit en configuration parallèle (figure 1a), les deux aimantations pointant dans le même sens (flèches verticales noires de la figure 1a), soit en configuration anti-parallèle (figure 1c), les deux aimantations pointant en 30 sens opposé (flèches verticales noires de la figure 1c).

Dans la configuration parallèle, les électrons e<sup>-</sup> de spin +1/2 (flèche oblique supérieure de la figure 1a) traversent les couches F1 et F2 avec une diffusion faible. Les résistances R<sub>F1</sub> et R<sub>F2</sub> des couches F1 et F2

ont, par conséquent, une valeur  $r$  faible pour ces électrons. Les électrons  $e^-$  de spin  $-1/2$  (flèche inférieure en zigzag de la figure 1a) traversent les couches  $F1$  et  $F2$  avec une diffusion forte. Les résistances  $R_{-F1}$  et  $R_{-F2}$  des couches  $F1$  et  $F2$  ont, par conséquent, une valeur  $R$  importante pour ces 5 électrons. En finale, la résistance électrique équivalente de la vanne de spin est représentée sur le schéma de la figure 1b. Elle est équivalente à deux résistances en série de valeur  $r$  placée en parallèle avec deux résistances en série de valeur  $R$ . Si  $R$  est très grand devant  $r$ , la résistance équivalente du circuit est voisine de  $r$ .

10 Dans la configuration anti-parallèle, les électrons  $e^-$  de spin  $+1/2$  (flèche supérieure de la figure 1c) traversent la couche  $F1$  avec une diffusion faible (partie en ligne droite de la flèche supérieure) et la couche  $F2$  avec une diffusion forte (partie en zigzag de la flèche supérieure). La résistance  $R_{+F1}$  de la couche  $F1$  a, par conséquent, une valeur  $r$  faible pour ces électrons et 15 la résistance  $R_{+F2}$  de la couche  $F2$  une valeur  $R$  importante. Les électrons  $e^-$  de spin  $-1/2$  (flèche inférieure de la figure 1c) traversent la couche  $F1$  avec une diffusion forte (partie en zigzag de la flèche inférieure) et la couche  $F2$  avec une diffusion faible (partie en ligne droite de la flèche inférieure). La résistance  $R_{-F1}$  de la couche  $F1$  a, par conséquent, une valeur  $R$  importante 20 pour ces électrons et la résistance  $R_{-F2}$  de la couche  $F2$  une valeur  $r$  faible. En finale, la résistance électrique équivalente de la vanne de spin est représentée sur le schéma de la figure 1d. Elle est équivalente à deux résistances respectivement de valeur  $r$  et  $R$  mises en parallèle avec deux résistances également de valeurs  $r$  et  $R$ . Si  $R$  est très grand devant  $r$ , la 25 résistance équivalente du circuit est maintenant voisine de  $R$ .

On modifie ainsi en fonction du champ magnétique appliqué la valeur de la résistance équivalente de la vanne de spin.

30 Un des domaines majeurs de recherche de la spintronique est le développement de transistors à vanne de spin. Les transistors à vanne de spin présentent des avantages importants sur les transistors classiques à semiconducteur comme, par exemple, un faible temps de commutation, de faibles énergies mises en jeu ainsi que la possibilité de programmation de portes logiques.

Différents concepts ont été proposés depuis 1995. Pour illustrer ces concepts représentés en figures 2, 3 et 4, on utilise une notation symbolique représentant les différentes couches du transistor. Les symboles utilisés sont les suivants :

- 5     • Couche F1 de métal ferromagnétique à aimantation permanente : rectangle comportant une flèche unique.
- 10    • Couche F2 de métal ferromagnétique à aimantation variable dépendant du champ magnétique : rectangle comportant une flèche double tête-bêche.
- 15    • Couche N de métal non magnétique : rectangle vide
- 20    • Couche de semi-conducteur présentant une barrière électronique de Schottky : rectangle surmonté par une courbe en pointe, symbolisant la barrière de Schottky.
- 25    • Couche I isolante : Losange à parois verticales.

15       La disposition verticale des différentes couches est représentative des différences de potentiel appliquées. Deux couches situées à des hauteurs différentes sont donc soumises à une différence de potentiel. On note  $V_{EB}$  la différence de potentiel existant entre l'émetteur et la base et  $V_{BC}$  la différence de potentiel existant entre la base et le collecteur.

20       En 1995, un premier concept a été proposé. (D.J. Monsma, J.C. Lodder, T.J.A. Popma and B. Dieny - Perpendicular Hot Electron Spin-Valve Effect in a New Magnetic Field Sensor : The Spin-Valve Transistor – Physical review Letters – Vol. 74, N° 26 – 26/06/95). Ce concept est 25 représenté en figure 2. Le transistor proposé comprend un émetteur E en matériau semi-conducteur, une base métallique B comprenant 3 couches F1, N et F2 constituant une vanne de spin et un collecteur C également en matériau semi-conducteur. Les jonctions émetteur/base et base/collecteur sont de type Schottky comme il est indiqué sur la figure 2. La flèche indique 30 le sens du courant collecté. Il est opposé à celui de la propagation des électrons. Des électrons sont injectés de l'émetteur vers la base à travers la base. Certains de ces électrons, dits chauds, ont une énergie suffisamment importante pour traverser la jonction Schottky émetteur/base. La relaxation énergétique de ces électrons chauds dans la base métallique dépend de leur 35 spin. Le courant collecté  $I_C$  dépend fortement de l'orientation relative des

aimantations entre les couches F1 et F2. On appelle contraste de magnéto courant MC le rapport ci-dessous :

$$MC = (I_{C,P} - I_{C,AP}) / (I_{C,P} + I_{C,AP})$$

avec  $I_{C,P}$  courant maximal transmis lorsque les aimantations sont 5 en configuration parallèle et  $I_{C,AP}$  courant minimal transmis lorsque les aimantations sont en configuration anti-parallèle.

De forts contrastes de courant collecteur  $I_C$  ont été observés avec un tel dispositif (P.S.A. Kumar et al., Physica C350, 166 (2001)).

Cependant, les effets de relaxation des électrons dans la base 10 sont importants, celle-ci étant composée de plusieurs interfaces successives et d'autre part, l'énergie des électrons dépend de la différence de hauteur de barrière de potentiel entre les deux jonctions Schottky émetteur/base et base/collecteur. Or, il est technologiquement très difficile de réaliser des différences de hauteurs de jonctions Schottky significatives (supérieures à 15 1eV). Aussi, ce dispositif ne peut générer que des courants collecteurs de très faible intensité, de l'ordre de la dizaine de nA.

En 2001, un second concept de transistor à vanne de spin a été proposé (S.van Dijken, Xin jiang, and S.S.P. Parkin – room temperature 20 operation of a high output current magnetic tunnel transistor – Applied Physics Letters – Vol. 80, N° 18 – 6 may 2002). Ce transistor dit MTT (pour Magnetic Tunnel Transistor) est représenté en figure 3. Il comprend un émetteur composé d'une couche ferromagnétique F1 à aimantation permanente, un isolant I, une base B composée d'une couche 25 ferromagnétique F2 à aimantation variable et un collecteur C en matériau semi-conducteur. La jonction base/collecteur est de type Schottky comme il est indiqué sur la figure 3. Les différences de potentiel  $V_{EB}$  et  $V_{BC}$  nécessaires entre la base et l'émetteur et la base et le collecteur sont également représentées. Les électrons polarisés en spin sont émis depuis 30 l'émetteur E ferromagnétique par effet tunnel dans la base ferromagnétique B. Le MTT permet de limiter les effets de relaxation des électrons dans la base qui n'est plus constituée que d'une seule couche. On obtient alors des courants  $I_C$  en sortie du collecteur plus importants. Cependant, la configuration en jonction tunnel magnétique conduit à des contrastes de 35 courant  $I_C$  plus faible entre configurations parallèle et anti-parallèle des

aimantations (inférieur à 70%). Ceci résulte du fait que ce dispositif n'exploite pas la dépendance en spin de la longueur caractéristique de relaxation des électrons chauds.

5 Enfin, en 2002, une variante du MTT a été proposée (S.S.P. Parkin – Intermag europe Conference – Amsterdam – May 2002). Elle est représentée en figure 4. Elle comprend un émetteur E en matériau semi-conducteur, un isolant I, une base B qui est une vanne de spin comprenant trois couches métalliques F1, N et F2 et un collecteur en matériau semi-conducteur. La jonction base/collecteur est de type Schottky. L'émetteur émet, par effet tunnel, des électrons non polarisés en spin vers la structure en vanne de spin de la base B. Des contrastes de courant collecteur très élevés (supérieurs à 3000%) ont été observés avec cette structure. Néanmoins, la tension  $V_{EB}$  susceptible d'être appliquée entre l'émetteur et la base est limitée par le phénomène de claquage dans la barrière tunnel et limite, par conséquent, l'intensité du courant émetteur  $I_E$ . L'intensité du courant collecteur  $I_C$  qui est proportionnelle à l'intensité du courant émetteur  $I_E$  reste également limitée.

20 L'objet de l'invention est de fournir un nouvel agencement de transistor à vanne de spin permettant d'obtenir à la fois une forte intensité et un fort contraste du courant collecteur  $I_C$ , ce qui est souhaitable pour les applications de type senseurs (détecteurs de champ faible ou tête de lecture) ou comme élément de mémoire non volatil ou encore comme porte logique  
25 programmable.

Plus précisément, l'invention a pour objet un transistor à vanne de spin comportant un émetteur, une base et un collecteur, l'émetteur étant réalisé dans un matériau semi-conducteur, la base étant constituée de trois couches de métal successives, la première couche et la troisième couche ferromagnétiques, la seconde couche n'étant pas ferromagnétique, l'interface entre l'émetteur et les couches de la base constituant une diode Schottky, caractérisé en ce que le collecteur est métallique et séparé de la base par une couche isolante mince d'environ quelques nanomètres, ladite couche  
30 35 constituant une barrière à effet tunnel entre la base et ledit collecteur.

Avantageusement, la couche isolante présente une barrière de potentiel de hauteur inférieure à la barrière de potentiel de la diode Schottky existant entre l'émetteur et la base.

5 Avantageusement, ladite couche isolante est en oxyde de tantale ou en sulfure de zinc ou en oxyde de zirconium ou en oxyde de terre rare tel que l'yttrium.

Avantageusement, la couche isolante a une épaisseur comprise environ entre 1 et 4 nanomètres.

10 Avantageusement, l'émetteur comporte au moins une couche de matériau semi-conducteur et le collecteur au moins une première couche de matériau métallique, la couche de matériau semi-conducteur de l'émetteur comporte au moins une seconde couche de matériau métallique permettant le raccordement de moyens de connexions électriques. Ces moyens de 15 connexion électrique sont implantés au niveau de la première couche de matériau métallique, au niveau de la seconde couche de matériau métallique et d'une quelconque des couches de la base, lesdits moyens de connexion permettant d'appliquer au transistor des tensions et des courants extérieurs.

Enfin, la tension électrique appliquée entre l'émetteur et la base 20 par l'intermédiaire des moyens de connexion est avantageusement supérieure à la barrière de potentiel de la couche isolante.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non 25 limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- Les figures 1a, 1b, 1c et 1d représentent les schémas de principe d'une vanne de spin et les schémas électriques équivalents dans les états Parallèle et Anti-Parallèle.
- La figure 2 représente le schéma symbolique d'un premier mode de réalisation d'un transistor à vanne de spin selon l'art antérieur.
- La figure 3 représente le schéma symbolique d'un transistor à vanne de spin de type MTT selon l'art antérieur selon une première variante.

- La figure 4 représente le schéma symbolique d'un transistor à vanne de spin de type MTT selon l'art antérieur selon une seconde variante.

- La figure 5 représente le schéma symbolique d'un transistor à vanne de spin selon l'invention.

- La figure 6 représente l'agencement des différentes couches dudit transistor ainsi que les connexions électriques associées du transistor selon l'invention.

5

La figure 5 représente un schéma symbolique du transistor à vanne de spin selon l'invention. Il comprend un émetteur E en matériau semi-conducteur, une base métallique B comprenant 3 couches F1, N et F2 constituant une vanne de spin, un matériau isolant I et un collecteur C en matériau électriquement conducteur. La jonction émetteur/base est de type Schottky comme il est indiqué sur la figure 5. La flèche indique le sens du courant collecté. Des électrons sont injectés de l'émetteur vers la base à travers la jonction Schottky émetteur/base. Les électrons passent de la base B au collecteur C à travers l'isolant I soit par effet tunnel, soit de manière balistique. Cette disposition a deux avantages majeurs sur les dispositions antérieures. L'utilisation d'une jonction émetteur/base de type Schottky permet d'utiliser des tensions  $V_{EB}$  émetteur/base plus importantes qui ne sont plus limitées par le phénomène de claquage. On peut ainsi obtenir de forts courants émetteurs  $I_E$  et par conséquent, de forts courants collecteurs  $I_C$ . La base étant constituée d'une vanne de spin, le contraste MC du courant collecteur peut également prendre des valeurs importantes.

20

25

Pour optimiser le dispositif, les matériaux doivent être choisis de façon à obtenir à la fois une hauteur de barrière Schottky élevée et une barrière tunnel de hauteur faible, inférieure à la hauteur de barrière Schottky.

30

L'isolant peut notamment être constitué d'oxyde de tantale ou de sulfure de zinc ou en oxyde de zirconium ou en oxyde de terre rare tel que l'oxyde d'yttrium. Le matériau de l'émetteur est classiquement un matériau semi-conducteur comme le silicium ou l'arséniure de gallium. Les couches de matériaux constituant la base sont notamment, du cobalt ou un alliage de cobalt pour la couche ferromagnétique F1, du cuivre ou de l'or pour la

35

couche neutre N, un alliage de nickel et de fer comme le permalloy (comportant 80% de nickel) pour la couche ferromagnétique F2, enfin la couche conductrice peut être du cuivre ou de l'or.

Le courant collecteur  $I_C$  est la somme de deux courants :  $I_{\text{tunnel}}$ , 5 courant tunnel entre base et collecteur et  $I_{\text{balistique}}$ , courant balistique provenant de l'émetteur constitué des électrons ayant suffisamment d'énergie pour traverser la jonction Schottky puis la base sans relaxer. Le courant tunnel ne jouant aucun rôle dans le fonctionnement du transistor, il convient de le minimiser. Il correspond, en électronique classique, à un 10 courant de fuite. Le moyen le plus simple est d'épaissir l'isolant I servant de barrière tunnel entre la base et le collecteur, le courant tunnel décroissant exponentiellement avec cette épaisseur.

Il est également avantageux d'utiliser une tension Emetteur/Base  $V_{EB}$  supérieure à la hauteur de la barrière tunnel. Dans ce cas, une partie 15 significative des électrons peut passer au-dessus de la barrière tunnel pour parvenir au collecteur de manière balistique. On augmente ainsi l'intensité du courant collecteur.

Technologiquement, le transistor spintronique selon l'invention se 20 présente comme un empilement de couches comme il est représenté en figure 6. Cet empilement peut être réalisé par les méthodes de dépôt utilisées en micro-électronique classique. Il comprend successivement une couche métallique A, la couche de semiconducteur de l'émetteur E, les trois couches métalliques F1, N et F2 constituant la base, la couche de matériau 25 isolant I et la couche métallique C du collecteur. Les connexions électriques de l'émetteur, de la base et du collecteur sont assurées par des moyens de connexion  $C_E$ ,  $C_B$  et  $C_C$  qui peuvent être par exemple des plots métalliques. Ces moyens de connexion  $C_E$ ,  $C_B$  et  $C_C$  sont situés au niveau de la couche métallique A située sous l'émetteur E, au niveau de la base et sur la couche 30 C du collecteur. La connexion peut se faire au niveau de la base sur l'une quelconque des trois couches F1, N ou F2. Sur la figure 6, est représenté également un schéma électrique de polarisation du transistor. Un générateur de courant relié au transistor par les moyens de connexion  $C_E$  et  $C_B$  impose un courant  $I_E$  à l'entrée de l'émetteur et une tension  $V_{EB}$  entre l'émetteur et la 35 base. Un générateur de tension relié au transistor par les moyens de

la connexion  $C_C$  et  $C_B$  impose une tension  $V_{BC}$  entre la base et le collecteur. Le courant recueilli par le collecteur dépend de la configuration des aimantations imposée aux couches ferromagnétiques de la base.

## REVENDICATIONS

1. Transistor à vanne de spin comportant un émetteur (E), une  
5 base (B) et un collecteur (C), l'émetteur (E) étant réalisé dans un matériau  
semi-conducteur, la base étant constituée de trois couches de métal  
successives, la première couche (F1) et la troisième couche (F2)  
ferromagnétiques, la seconde couche (N) n'étant pas ferromagnétique,  
l'interface entre l'émetteur (E) et les couches de la base (B) constituant une  
10 diode Schottky, caractérisé en ce que le collecteur (C) est métallique et  
séparé de la base (B) par une couche isolante mince (I) d'environ quelques  
nanomètres, la dite couche constituant une barrière à effet tunnel entre la  
base (B) et ledit collecteur (C).

15 2. Transistor à vanne de spin selon la revendication 1, caractérisé  
en ce que la couche isolante (I) présente une barrière de potentiel de  
hauteur inférieure à la barrière de potentiel de la diode Schottky existant  
entre l'émetteur (E) et la base (B).

20 3. Transistor à vanne de spin selon la revendication 2, caractérisé  
en ce que la couche isolante (I) est en oxyde de tantale ou en sulfure de zinc  
ou en oxyde de zirconium ou en oxyde de terre rare tel que l'oxyde d'yttrium.

25 4. Transistor à vanne de spin selon la revendication 1, caractérisé  
en ce que la couche isolante (I) a une épaisseur comprise environ entre 1 et  
4 nanomètres.

30 5. Transistor à vanne de spin selon la revendication 1, caractérisé  
en ce que l'émetteur (E) comporte au moins une couche de matériau semi-  
conducteur et le collecteur (C) au moins une première couche de matériau  
métallique.

6. Transistor à vanne de spin selon la revendication 4, caractérisé en ce que la couche de matériau semi-conducteur de l'émetteur (E) comporte au moins une seconde couche de matériau métallique (A).

5        7. Transistor à vanne de spin selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que des moyens de connexion électrique ( $C_E$ ,  $C_B$  et  $C_c$ ) sont implantés au niveau de la première couche de matériau métallique, au niveau de la seconde couche de matériau métallique et d'une quelconque des couches (F1, N, F2) de la base, lesdits moyens de connexion permettant 10 d'appliquer au transistor des tensions et des courants extérieurs.

8. Transistor à vanne de spin selon la revendication 1, caractérisé en ce que la tension électrique appliquée entre l'émetteur (E) et la base (B) par l'intermédiaire des moyens de connexion ( $C_E$ ) et ( $C_B$ ) est supérieure à la 15 barrière de potentiel de la couche isolante (I).

Configuration P

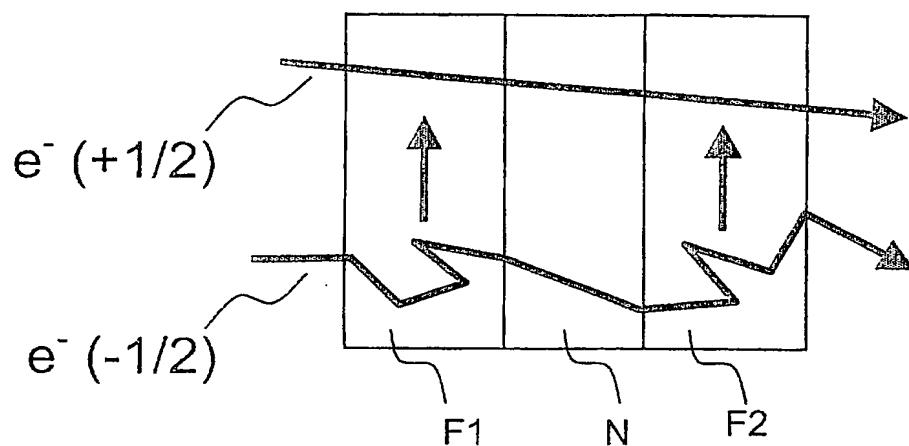


FIG. 1a

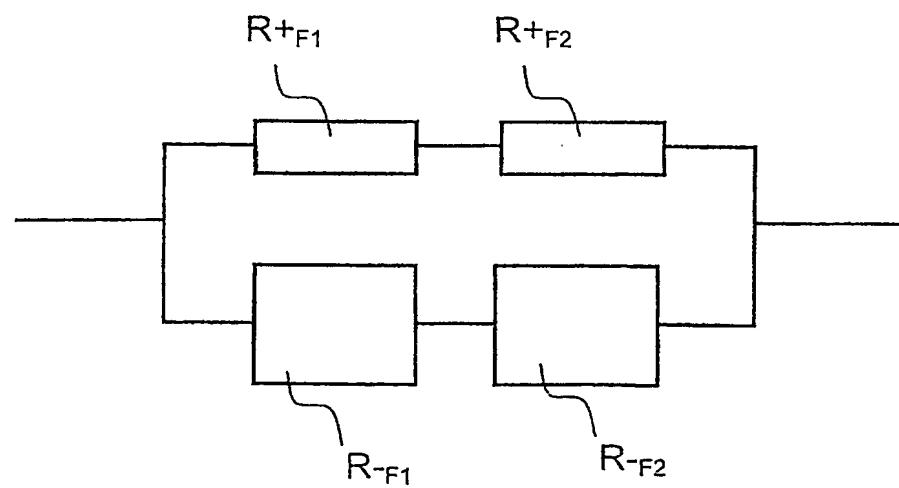


FIG. 1b

Configuration AP

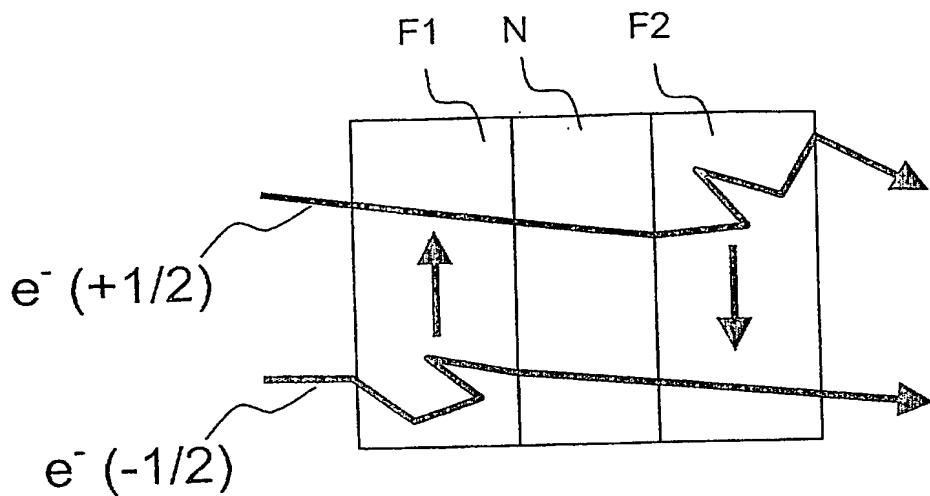


FIG. 1c

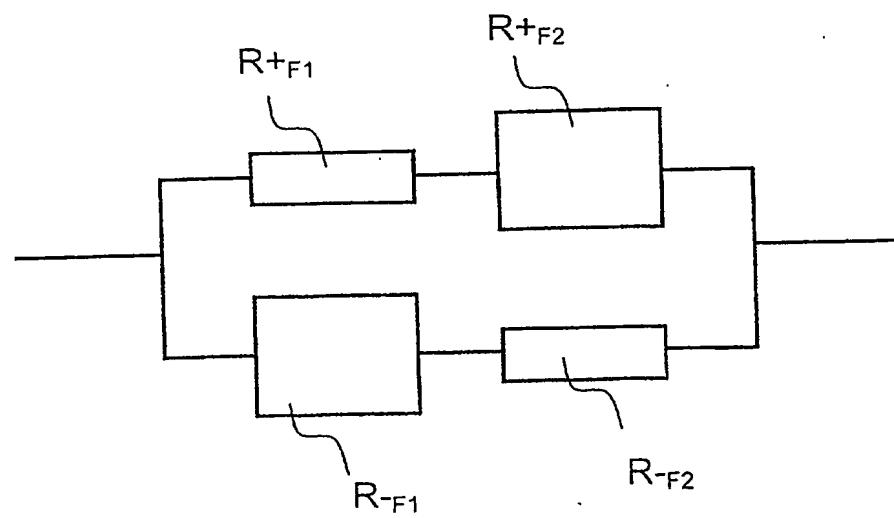


FIG. 1d

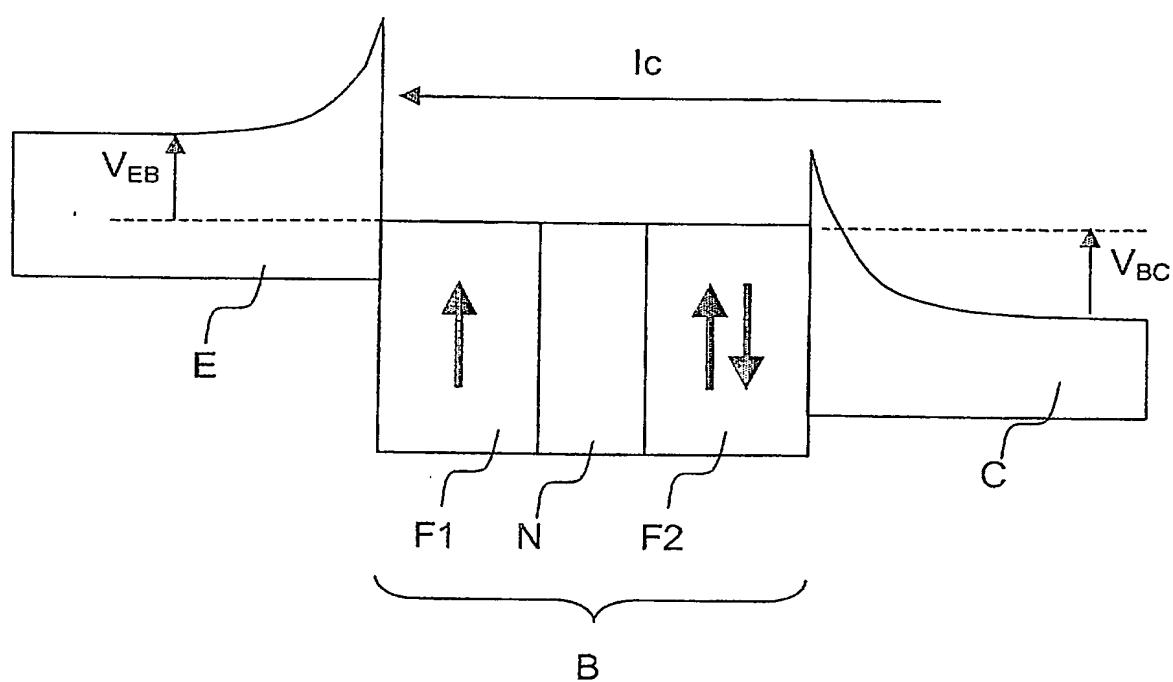


FIG. 2

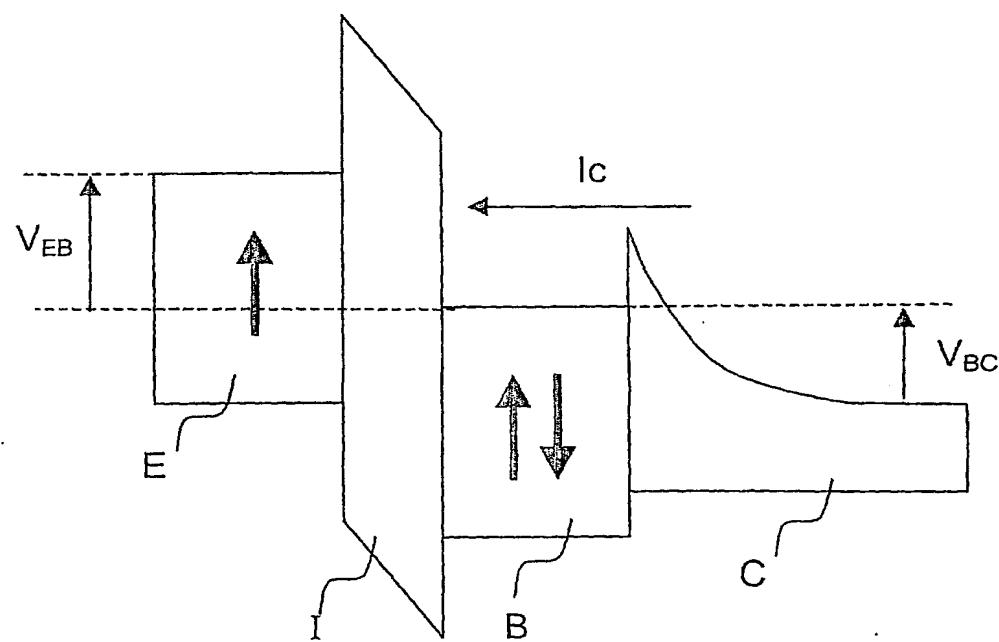
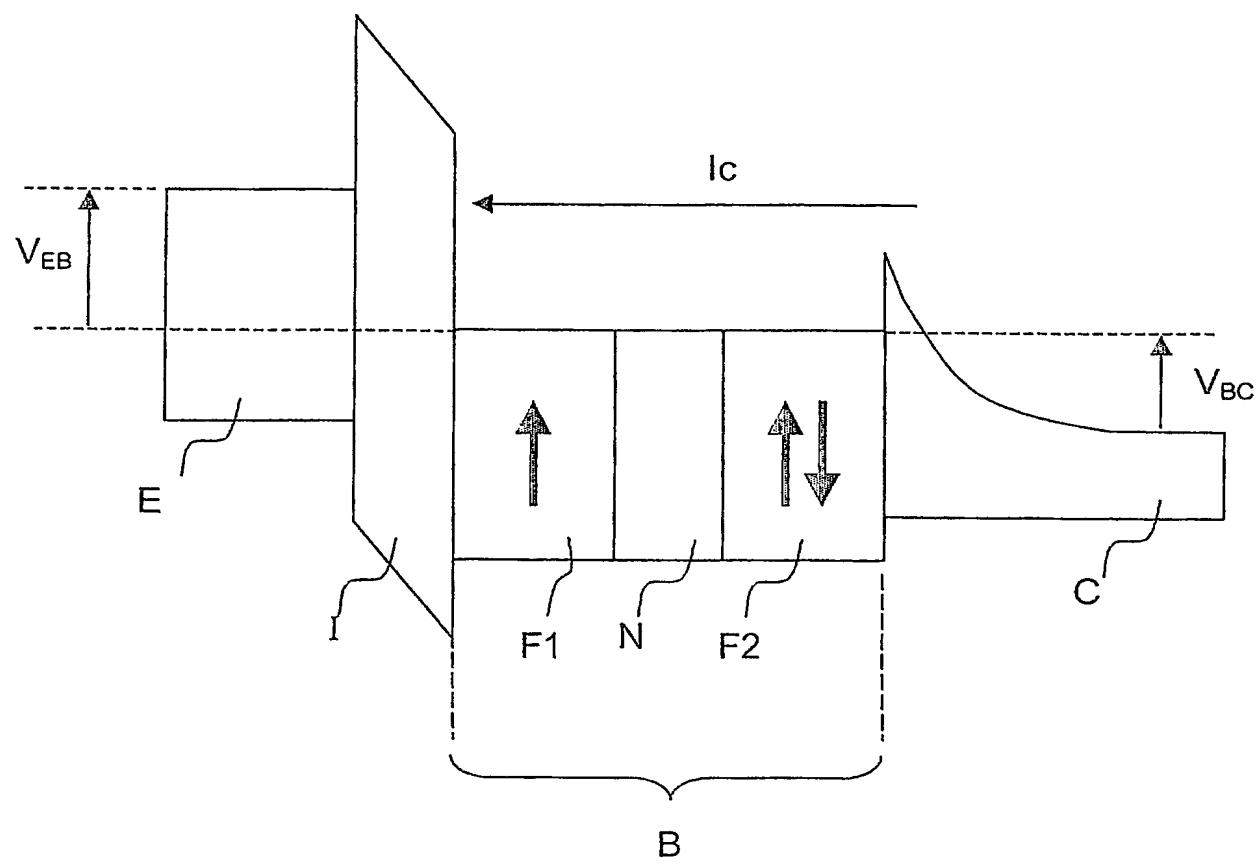
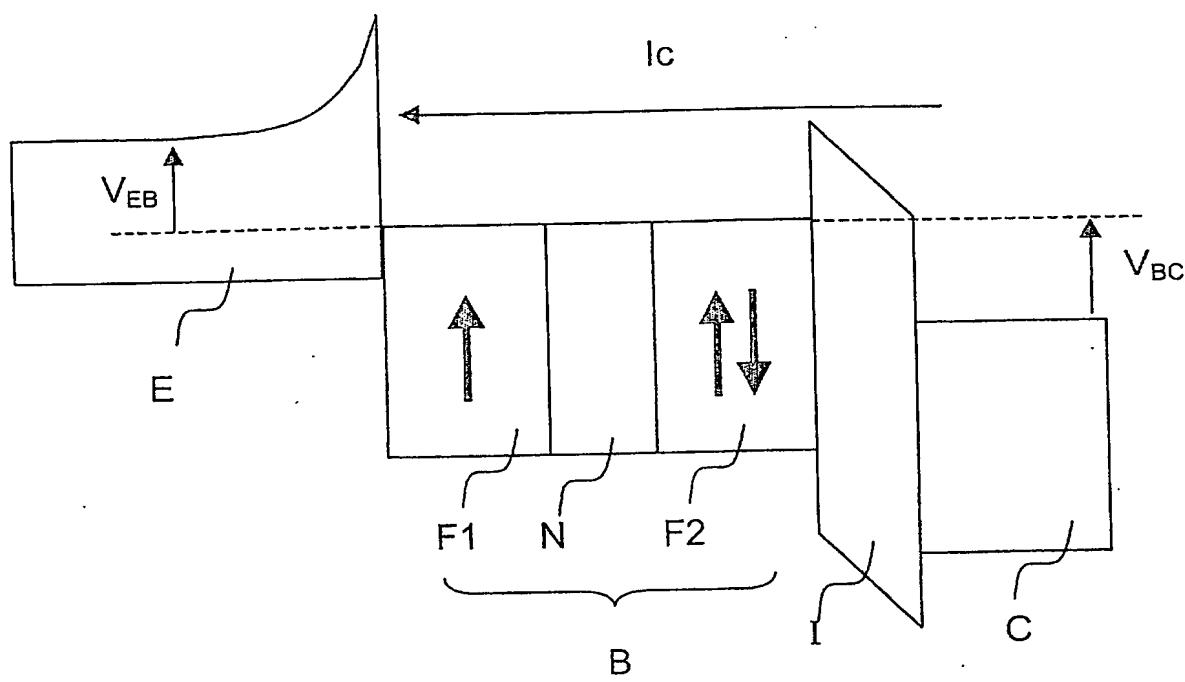


FIG. 3

**FIG. 4**

**FIG. 5**

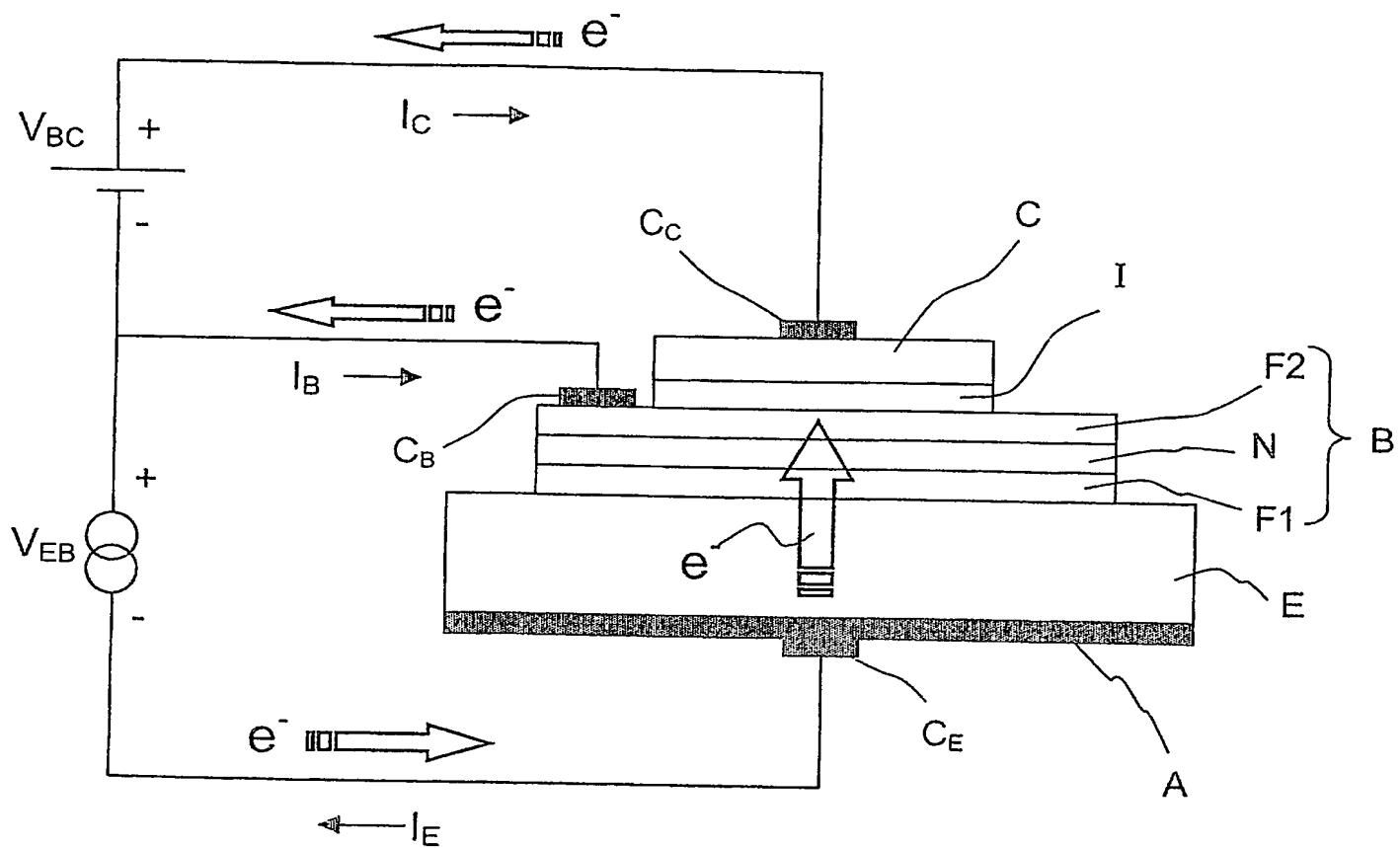


FIG. 6



INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis. rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11235\*02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W 260939

Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i>	62947										
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	021584										
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)											
TRANSISTOR A VANNE DE SPIN A HAUT RENDEMENT											
LE(S) DEMANDEUR(S) :											
THALES											
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).											
<table border="1"><tr><td>Nom</td><td>NGUYEN VAN DAU</td></tr><tr><td>Prénoms</td><td>Frédéric</td></tr><tr><td>Adresse</td><td>Rue</td></tr><tr><td>Code postal et ville</td><td>THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13 avenue du Président Salvador Allende</td></tr><tr><td>Société d'appartenance <i>(facultatif)</i></td><td>94117 ARCUEIL CEDEX</td></tr></table>		Nom	NGUYEN VAN DAU	Prénoms	Frédéric	Adresse	Rue	Code postal et ville	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13 avenue du Président Salvador Allende	Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>	94117 ARCUEIL CEDEX
Nom	NGUYEN VAN DAU										
Prénoms	Frédéric										
Adresse	Rue										
Code postal et ville	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13 avenue du Président Salvador Allende										
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>	94117 ARCUEIL CEDEX										
<table border="1"><tr><td>Nom</td><td></td></tr><tr><td>Prénoms</td><td></td></tr><tr><td>Adresse</td><td>Rue</td></tr><tr><td>Code postal et ville</td><td></td></tr><tr><td>Société d'appartenance <i>(facultatif)</i></td><td></td></tr></table>		Nom		Prénoms		Adresse	Rue	Code postal et ville		Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>	
Nom											
Prénoms											
Adresse	Rue										
Code postal et ville											
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>											
<table border="1"><tr><td>Nom</td><td></td></tr><tr><td>Prénoms</td><td></td></tr><tr><td>Adresse</td><td>Rue</td></tr><tr><td>Code postal et ville</td><td></td></tr><tr><td>Société d'appartenance <i>(facultatif)</i></td><td></td></tr></table>		Nom		Prénoms		Adresse	Rue	Code postal et ville		Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>	
Nom											
Prénoms											
Adresse	Rue										
Code postal et ville											
Société d'appartenance <i>(facultatif)</i>											
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)											
9 3 DEC. 2002											
Sophie ESSELIN											

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.